International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)
Peer-Reviewed Journal
ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)
Vol-10, Issue-11; Nov, 2023
Journal Home Page Available: https://ijaers.com/
Article DOI:https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.1011.10

Production and study of polymeric composite based on recycled waste from civil construction

Produção e estudo de compósito polimérico a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil

Carina Imaculada Ferreira, Franciely Benfica Arcanjo, Priscila Alves da Silva Machado

Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade João Monlevade

Received: 11 Oct 2023,

Receive in revised form: 11 Nov 2023,

Accepted: 20 Nov 2023,

Available online: 30 Nov 2023

***Keywords*— Composites, Construction and Demolition Waste, Expanded Polystyrene**

***Palavras-chave*— Compósitos, Resíduos de construção e Demolição, Poliestireno Expandido**

***Abstract*—** *As awareness of environmental issues grows, society recognizes the need for change, and more consumers advocate for environmentally friendly products. Consequently, the construction industry is compelled to devise new strategies to meet these demands. Construction and Demolition Waste (CDW) arises from construction, renovation, or demolition activities, constituting a residual product that has a significant negative impact on the environment. Expanded Polystyrene (EPS), also known as "Styrofoam," is a polymer-based material characterized by its low density, high flexibility, exceptional thermal, acoustic, and chemical resistance, in addition to being entirely recyclable. Composites refer to materials created by combining one or more materials with a matrix, also known as a reinforcement or filler load. This work aimed to conduct research by producing composite materials with a polymer matrix based on expanded polystyrene reinforced with CDW particles. The incorporation of CDW into expanded polystyrene was proposed through its dissolution in the solvent "acetone," enabling the mixing of CDW particles into the polymer matrix. Through structural characterization and mechanical properties, it is intended that the study of this new material can fill gaps in research on the reuse of construction and demolition waste in the field of civil engineering.*

***Resumo*—** *À medida que cresce a conscientização sobre as questões ambientais, a sociedade reconhece a necessidade de mudança e mais consumidores defendem produtos ecologicamente corretos, consequentemente, a indústria da construção civil é compelida a traçar novas estratégias para atender a essas demandas. O resíduo de construção e demolição (RCD) é proveniente das atividades de construção, reforma ou demolição, sendo produto residual que gera impacto negativo significativo no meio ambiente. O poliestireno expandido (EPS), também conhecido como "isopor", é um material à base de polímeros caracterizado por sua baixa densidade, alta flexibilidade, excepcional resistência térmica, acústica e química, além de sua composição totalmente reciclável. Os compósitos referem-se a materiais que são criados combinando um ou mais materiais com uma matriz, também conhecida como carga de reforço ou carga de*

enchimento. Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma pesquisa através da produção de materiais compósitos de matriz polimérica a base de poliestireno expandido reforçado com partículas de RCD. Foi proposta a incorporação do RCD ao poliestireno expandido através da dissolução do mesmo em solvente "acetona", possibilitando assim a mistura das partículas de RCD na matriz polimérica. Através de caracterização estrutural e de propriedades mecânica, pretende-se que o estudo desse novo material possa preencher lacunas nas pesquisas sobre reaproveitamento de resíduos de construção e demolição na área de engenharia civil.

Palavras-chave— Compósitos, Resíduos de construção e Demolição, Poliestireno Expandido.

I. INTRODUÇÃO

A urbanização e o desenvolvimento de tecnologias construtivas têm incentivado cada vez mais o investimento no setor da construção civil, oferecendo melhores condições de saúde para população, expansão da mobilidade urbana promovendo praticidade, conforto e qualidade de vida para a população. No entanto, a construção civil tem sido responsável por 50% do volume total de resíduos produzidos nos grandes centros urbanos. Como consequência, o meio ambiente sofre processo de deterioração devido a esses impactos (DUAN *et al*., 2020b; RYOU; LEE, 2014; XIAO *et al*., 2018a; ZHANG *et al*., 2015).

Em um canteiro de obras, pode-se citar alguns resíduos de diferentes categorias que são classificadas na Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como: materiais cerâmicos, concreto, solos, madeiras, plásticos entre outras dezenas de diferentes tipos de materiais que são descartados no meio ambiente. É importante também mencionar as interferências nos meios antrópico, biótico e físico nas vizinhanças onde as construções são edificadas. A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2022) destaca que o contexto atual oferece oportunidades para empreendimentos sociais e sustentáveis, ou seja, aqueles que trazem benefícios tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente.

O ramo da construção civil oferece amplo espaço para ideias inovadoras, mas nem sempre é o mais receptivo a mudanças. Para superar esse obstáculo, os projetos nessa área devem se alinhar a novos processos ou formulações que reduzam o tempo de construção e o desperdício. Além disso, é fundamental que esses projetos agreguem valor sem inflar custos, ao mesmo tempo em que defendem os princípios da sustentabilidade por meio da responsabilidade ambiental, equidade social e viabilidade econômica.

À medida que a competitividade no setor se intensifica, os empreendedores reconhecem a importância da sustentabilidade e se esforçam para adotar práticas ecologicamente corretas. Eles concebem e exploram ideias, técnicas e materiais inovadores, enfatizando a viabilidade econômica da reciclagem. No meio dessa empreitada, os resíduos, em particular o resíduo de construção e demolição (RCD), merecem atenção, uma vez que são provenientes das atividades de construção, renovação ou demolição.

A consciência ambiental tem aumentado nos últimos anos, levando a sociedade a ter uma abordagem mais criteriosa sobre o assunto. A gestão e destinação inadequada de entulho, resíduos de construção e demolição têm se destacado como um grande problema para as áreas urbanas, causando impactos socioambientais, incluindo degradação do solo, contaminação de corpos hídricos, aumento do risco de enchentes, poluição do ar e proliferação de vetores transmissores de doenças em centros urbanos. Além disso, os resíduos são frequentemente dispostos em condições insalubres nas ruas e em bota-foras clandestinos (BESEN *et al*., 2017).

Entre os vários atributos do engenheiro civil, é esperado que os profissionais incentivem a implantação na busca de novas tecnologias construtivas sustentáveis, como a implantação de materiais reciclados nas construções válida a eliminação de uma parte desses resíduos acumulados incorretamente na natureza. Logo, constitui-se fator de extrema relevância a busca e o estudo de materiais que apresentem propriedades específicas com baixo custo e que beneficiem a preservação da natureza.

Os compósitos são materiais heterogêneos e multifásicos, criados pela mistura de um ou mais materiais com uma carga de reforço ou matriz de carga de enchimento. O objetivo de combinar esses materiais é fundir as propriedades únicas de seus componentes individuais, a fim de criar um desempenho estrutural superior, adaptado às condições específicas de uso (CALLISTER, 2020).

O poliestireno expandido (EPS), um polímero, conhecido no Brasil como "isopor", é considerado um plástico celular rígido gerado a partir da polimerização do estireno em água

(ABQUIM, 2020). É normalmente utilizado em elementos estruturais como lajes, nivelamento de terrenos e revestimentos. Considerado um resíduo de diversos setores, inclusive do setor da construção civil, no Brasil, cerca de 36,6 mil toneladas desse material são descartadas de maneira inconveniente, acabando por ser destinadas a aterros sanitários (ROCHA; FIGUEIREDO; ALTRAN, 2016).

Dada a importância da reciclagem para a sociedade atual, há um crescente interesse na reutilização desses materiais por profissionais e acadêmicos da área de engenharia.

Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo a fabricação de compósitos poliméricos à base de EPS e avaliação da influência dos RCD incorporados como reforço na sua matriz. Após a produção, foi realizada a caracterização estrutural do material utilizando técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), a análise da porosidade, a determinação da dureza e da resistência à compressão do material.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Construção civil

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil cresceu 9,7 % em 2021. Foi o melhor desempenho do setor desde 2010, quando a indústria da construção civil foi responsável pela geração de mais de 329 milhões de vagas formais no mercado de trabalho e por um aumento de 13,1 % no PIB, o melhor resultado dos últimos 24 anos. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2022) a construção civil é a indústria que mais impulsiona a economia nacional.

No entanto, o crescimento da indústria da construção acarreta alguns problemas, como a geração de resíduos que, quando são descartados inadequadamente, causam alto impacto negativo ao meio ambiente. Vários autores apontam que o setor da construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais, além de gerar volume elevado de resíduos. Somando-se a isso, cerca de 60% do “lixo” que é produzido diariamente nas cidades têm origem do setor da construção civil (SILVA; FERNANDES, 2012; SEGANTINI; WADA, 2011).

Segundo GOLDEMBERG *et al*. (2012), a construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural, o que requer manutenção permanente. Métodos de gerenciamento de resíduos produzidos durante a construção têm despertado muito interesse e têm sido alvo de inúmeros estudos nesse contexto (IBRAHIM *et al*., 2010; ANGULO *et al*., 2011).

O impacto ambiental causado pela construção civil está normalmente ligado a todas as suas etapas de produção, incluindo extração de recursos, produção e transporte de materiais, concepção e execução de projetos, construção, práticas de uso e manutenção, demolição e desconstrução, bem como o destino final dos resíduos produzidos ao longo de sua vida útil. As fases mencionadas têm impactos ambientais, econômicos e sociais que afetam todas as cidades, empresas e organizações governamentais (IBRAHIM *et al*., 2010; ANGULO *et al*., 2011).

2.2 Compósitos ecoeficientes

Os materiais compostos são produzidos a partir de dois componentes essenciais: um material principal denominada matriz e um elemento de reforço ou carga que está disperso na matriz. A matriz é frequentemente referida como fase contínua, enquanto o reforço é conhecido como fase dispersa. Embora esses materiais sejam separados por uma interface, eles ainda mantêm uma capacidade significativa de adesão entre si. A matriz incorpora, fortalece e dá forma ao componente. Já o material de reforço confere resistência e pode ser constituído de fibras curtas, contínuas, pós ou esféricas (PAULESKI, 2005). O efeito de sinergia que se observa nos sistemas é uma característica dos compósitos que deve ser observada, sendo os principais constituintes dos compósitos utilizados na construção civil categorizados como estruturais e matriciais (PAULESKI, 2005).

Os elementos estruturais são feitos por componentes orgânicos ou inorgânicos, com formas regulares ou assimétricas, podendo ser fibrosos ou pulverulentos (esféricos ou cristalinos), com fragmentos achatados (flocos) ou fibras extremamente curtas, quase moleculares, de material monocristalino. Os blocos de construção são quase sempre feitos de um polímero orgânico que pode ser macio ou duro, termoplástico ou de temperatura fixa. Sua responsabilidade principal é manter o espaçamento e a orientação das fibras, transmitir as forças de cisalhamento entre as camadas da fibra para tornar o material resistente a rasgos e torções e proteger as fibras contra danos superficiais (PAULESKI, 2005). A Figura 1 esquematiza um compósito.
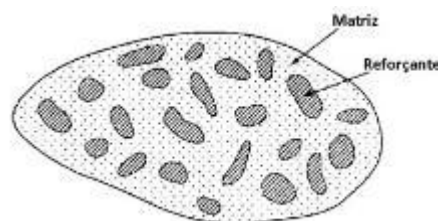
Fig.1- Esquematização de um compósito

Fonte: Nota Positiva, 2010.

2.3 Polímeros

As macromoléculas conhecidas como polímeros se distinguem por seu tamanho, composição química e

interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas conectadas por ligações covalentes repetidas que percorrem toda a extensão da cadeia. Podem ser sintéticos, ou naturais como seda, celulose, fibras de algodão, etc. (WAN, 2002).

Os polímeros são classificados como termoplásticos (plásticos), termofixos, borrachas e fibras. Plásticos são materiais que, apesar de estarem sozinhos em temperatura ambiente seu estado final, tornam-se fluidos e moldáveis quando aquecidos acima da temperatura de "amolecimento" por uma ação isolada ou combinada de calor e pressão. Alguns exemplos de termoplásticos incluem polipropileno (PP), polietileno (PE), politereftalato de etileno (PET), policloreto de vinila (PVC) e poliestireno (PS). As propriedades dos termoplásticos incluem maleabilidade quando expostos ao calor, baixa densidade, boa estética, isolantes térmicos e elétricos, resistência ao impacto e baixo custo; como resultado, eles têm uma ampla gama de aplicações (WAN, 2002).

2.4 Poliestireno expandido

O isopor, ou poliestireno expandido, como é conhecido no Brasil, é criado pela expansão da resina de PS com um expansor de gás. Esse plástico celular rígido é formado a partir da polimerização do estireno em água. O EPS é mais utilizado na construção civil, onde ganhou ampla popularidade (BERLOFA, 2009). Para transformar o isopor, o pentano é usado como agente expansor. Esse hidrocarboneto é capaz de se deteriorar rapidamente devido a uma reação fotoquímica causada pela luz solar, sem representar qualquer ameaça ao meio ambiente. O produto resultante é composto por pérolas de até 3 mm de diâmetro, que podem expandir até 50 vezes seu tamanho original por meio de vapor, fusão e moldagem em várias formas. As pérolas expandidas são compostas por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Por exemplo, em um metro cúbico de EPS, existem entre 3 e 6 bilhões de células fechadas e com ar (ABRAPEX, 2016).

O EPS é um polímero termoplástico que encontra uso abundante no setor industrial como material de embalagem para diversos produtos, bem como como isolante térmico na engenharia civil. O EPS pós-consumo é um material reciclável que pode ser empregado na produção de compósitos (POLETTO, 2008).

A Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (ABRAPEX) lista uma série de vantagens associadas ao poliestireno expandido, que incluem:

a) O isopor apresenta excelentes propriedades de isolamento devido à sua baixa condutividade térmica; a estrutura de célula fechada cheia de ar impede a transferência de calor;

b) As densidades do isopor variam de 10 a 30 kg/m3, resultando em construções significativamente mais leves devido ao baixo peso;

c) O isopor possui notável resistência mecânica apesar de sua leveza, tornando-o uma escolha adequada para aplicações que exijam tal característica;

d) O isopor possui baixa capacidade de absorção de água. Isso porque não é higroscópico. Mesmo quando totalmente submerso em água, o isopor absorve apenas quantidades minúsculas de água. Esse atributo garante que o isopor mantenha suas características mecânicas e térmicas, mesmo quando submetido a condições úmidas;

e) O isopor é um material que pode ser facilmente manuseado com ferramentas comumente disponíveis, tornando-o altamente adaptável para qualquer trabalho. Sua natureza leve permite um manuseio sem esforço no local de trabalho, tornando as operações de movimentação e colocação muito mais rápidas e simples;

f) A versatilidade do isopor reside em sua capacidade de ser moldado em uma variedade de formas e tamanhos que são adaptados aos requisitos exclusivos de qualquer projeto de construção;

g) O isopor possui resistência ao envelhecimento, o que lhe permite manter suas propriedades inalteradas durante toda a sua vida útil;

h) Capacidade de absorver choques;

i) A sua resistência à compressão é de 2 kg/cm²;

j) O isopor é quimicamente compatível com vários materiais utilizados na construção civil, incluindo, entre outros, cimento, gesso, cal e água.

No Brasil, em 2017, a produção de EPS alcançou 44,9 mil toneladas, enquanto o consumo total foi de 91,74 mil toneladas (conforme dados da ABIQUIM, 2020). No cenário global, o mercado de EPS foi avaliado em 9,7 bilhões de dólares em 2019, com uma perspectiva de crescimento anual de 4,6% prevista para o período entre 2020 e 2027, chegando a um valor estimado de 12,9 bilhões de dólares (GRAND VIEW RESEARCH INC, 2021). Vale ressaltar que o poliestireno expandido é reciclável, e algumas empresas brasileiras já tentaram reutilizá-lo. O processo de reciclagem envolve a transformação do isopor, que tem as mesmas propriedades iniciais do poliestireno utilizado na produção inicial. No entanto, o custo de investimento em uma unidade de revalorização para posterior venda é proibitivamente alto, tornando-se inviável em menor escala (ABRAPEX, 2016).

2.5 Resíduos de construção e demolição

De acordo com Pimentel *et al.* (2010) *apud* Figueiredo *et al.* (1995), a concepção comum de eliminação, lixo ou sobra envolve a reunião de materiais diferentes que, quando combinados, resultam em uma massa sem valor comercial e com potencial de impacto ambiental variável, dependendo de sua composição. No âmbito da construção civil, a sustentabilidade é influenciada por diversos fatores, entre eles o uso de água e a utilização de estratégias bioclimáticas.

A maioria dos resíduos sólidos produzidos em áreas urbanas está diretamente relacionada às operações de construção e demolição, representando cerca de metade de todos os resíduos urbanos gerados nas grandes cidades (KWON *et al*., 2015, e LIU *et al*., 2014).

Os RCD, são categorizados como resíduos sólidos e não reativos, que podem consistir em rochas, solo, areia ou agregados, processados ou não processados. De acordo com a Resolução 307 CONAMA (2011), os resíduos da construção civil são definidos como os resíduos gerados na construção, reforma, geração e demolição de obras de construção civil, bem como os resultados da preparação do solo e escavação. Esses resíduos incluem materiais de construção como concreto, tijolos, blocos cerâmicos, metais, solo, resinas, colas, tintas, madeira, forros, argamassa, compensados, gesso, telhas, fiação elétrica, plásticos tubulações, vidros e pavimento asfáltico. Esses materiais são comumente referidos como entulhos de construção, calcário ou estilhaços (CONAMA, 2011). O Quadro (1) da resolução CONAMA 307 classifica o RCD em quatro categorias.

Quadro 1 - Classificação dos Resíduos conforme a Resolução CONAMA n°307/2011

Classe A	I. De construção, demolição reformas e reparos de pavimentos e outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. II. De construção, demolição reforma e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, telhas, placas de revestimento, etc.) argamassa e concreto. III. De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios, etc.) produzidos nos canteiros de obra.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plástico, isopor, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e outros.
Classe C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidos tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolição, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Conforme o Quadro 1, é possível observar que os materiais a serem elaborados no compósito são compostos por resíduos classe A e isopor (EPS) classe B.

No Brasil, o gerenciamento adequado dos RCD foi estabelecido por meio da aprovação da Resolução 307 em 2002 (CONAMA, 2011). Essa resolução define claramente os papéis do setor público e das organizações privadas (PINTO; GONZÁLEZ, 2005), garantindo que todas as partes tenham responsabilidades compartilhadas no processo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 estabeleceu uma definição para resíduos da construção civil em seu Artigo 13, inciso I, alínea h. Essa definição inclui os resíduos gerados pela construção, reforma, reparo e demolição de obras de construção civil, bem como os resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (BRASIL, 2010).

A publicação da NBR 15116 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em junho de 2021 trouxe várias inovações importantes. Uma delas é a permissão para a utilização parcial de agregado reciclado de concreto em substituição ao agregado natural na fabricação de concretos estruturais, uma prática anteriormente não permitida na versão de 2004 da norma. Além disso, essa atualização da NBR 15116 estabelece uma classificação dos resíduos da construção civil em quatro categorias: A, B, C e D. Dentro dessa classificação, apenas os agregados pertencentes à classe A são autorizados para uso em concreto estrutural. Para se qualificar como classe A destruição deve consistir em, no mínimo, 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Além disso, a eliminação deve pertencer à subclasse denominada "Agregado Reciclado de Concreto" (ARCO) para ser aceito. Existem duas outras subclasses dentro da classe A, nomeadamente "Agregado Reciclado Cimentício" (ARCI) e "Agregado Reciclado Misto" (ARM), mas a norma não permite o uso dessas subclasses na produção de concreto estrutural. A norma também estabelece um limite de 20% de substituição dos agregados convencionais pelos reciclados quando se trata de concretos das classes de agressividade I e II.

Os resíduos produzidos nas atividades de demolição e construção representam um problema quando se trata de sua disposição final devido à sua composição física e grande volume. Esses materiais não podem ser depositados em aterros sanitários e muitas vezes são deixados em caçambas em áreas urbanas, o que além de degradar o visual da paisagem urbana, também favorece a formação de pequenos lixões a céu aberto. Esses lixões provocaram a disseminação de vetores patogênicos que podem prejudicar a saúde pública, além de obstruir os sistemas de drenagem (PASCHOALIN; GRAUDENZ, 2012).

A utilização de RCD tem um efeito positivo no meio ambiente e ajuda a reduzir o esgotamento dos recursos naturais. Isso ocorre porque o RCD reduz o impacto de seu descarte na natureza e minimiza a retirada de agregados de suas fontes naturais. O uso de RCD aconteceu no pós-guerra durante a década de 1940, principalmente na Alemanha, quando as cidades foram destruídas ou parcialmente destruídas pelos bombardeios dos Aliados, principalmente no final da guerra.

A escassez de espaço para depósitos de agregados *"in natura"* e a abundância de entulho, deram origem à ideia de utilizar o RCD. Isso não apenas resolveu o problema da deposição de resíduos, mas também resultou na minimização do uso de agregados naturais (JOHN; AGOPYAN, 2000).

2.6 Incorporações de resíduos de construção civil em compósitos poliméricos a base de poliestireno expandido

A indústria da construção civil, influenciada tanto pelo crescimento da economia em seu setor de atuação quanto pela necessidade de desenvolvimento sustentável e certificação ambiental na edificação, iniciou uma aposta na inovação tecnológica como forma de aumentar sua competitividade. Essa estratégia também serve para prolongar a atual fase de crescimento do setor e estabelecer um ponto de venda único no mercado (TYKKÄ et al., 2010; AR, 2012; HARRIS *et al.*, 2013).

A pesquisa sobre a incorporação de RCD como agregados reciclados (AR) é amplamente explorada, embora seu uso prático ainda seja limitado no âmbito nacional. No entanto, devido às enormes quantidades de resíduos gerados globalmente e ao crescente desafio de sua destinação final, torna-se essencial a busca por novas técnicas de reciclagem desses materiais (SALLES, 2023).

De acordo com ABRECON (2022), a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil ainda está em sua fase inicial, e a reciclagem é vista atualmente como a forma mais eficaz de reduzir o impacto ambiental dos resíduos.

Nos últimos anos, a demanda por materiais de construção aumentou significativamente devido ao aumento da população. Isso tem resultado em uma escassez crônica desses materiais, tornando a reciclagem e a reutilização de resíduos industriais uma solução atraente e sustentável. Os especialistas estão explorando os avanços tecnológicos para atender à demanda por materiais de construção necessários para atender à crescente população e aos padrões de vida. Essa abordagem também visa reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários, o que é especialmente importante em países que lutam para obter terras disponíveis e gerenciar essas áreas (MADURWAR *et al.*, 2013).

No campo da engenharia civil, já é obrigatório considerar a redução de custos, energia e consumo de reservas naturais no desenvolvimento de materiais direcionados para novas soluções tecnológicas (PICANÇO; GHAVAMI, 2008).

Os resíduos provenientes da construção e demolição, mesmo após a segregação, apresentam propriedades distintas em comparação com os agregados naturais. Grande parte dessa discrepância está relacionada à composição dos agregados reciclados, que consistem principalmente em cerâmicas vermelhas e materiais cimentícios. Esses materiais apresentam propriedades significativamente diferentes quando comparados às rochas naturais. Outro fator relevante é a presença de argamassa aderida em parte dos agregados reciclados, o que apresenta propriedades como alta porosidade e baixa resistência à abrasão e variação em comparação com os agregados naturais (AN). Além disso, a mistura de AR e AN cria uma quantidade de zonas de transição interfacial (ZTI), conforme observado em diversos estudos (DUAN *et al.*, 2020; FERREIRA, BARRA; DE BRITO, 2011; KOU; POON; ZHAN, 2011; THOMAS *et al.*, 2020).

Vários estudos visam substituir os agregados, miúdos e graúdos, por resíduos de diferentes naturezas. Alguns exemplos são os estudos realizados por BARBOSA *et al.*,2011;LINTZ *et al.*,2012;SANTOS,2010. Entre outras descobertas, esses estudos avaliaram a possibilidade de utilização de agregado reciclado no lugar do agregado natural e descobriram que as propriedades do concreto com agregados reciclados podem ser influenciadas pelas características dos resíduos usados. Muitos autores têm confirmado esses achados, como LEITE, 2001**;** AWASTHI, 2011**;** CHAUHAN, 2011; VIDAL *et al.*, 2010; ISSAI *et al.*, 2011.

Algin e Turgut (2007) realizaram um estudo sobre resíduos de construção. Especificamente, eles exploraram a potencialidade de usar pó de calcário e serragem de madeira, que são comumente abandonados em todos os países e representam riscos ambientais e de saúde para a

população. Sua pesquisa se concentrou em um experimento paramétrico que visava combinar os dois materiais residuais para formar um compósito leve e barato que poderia ser utilizado na construção civil. Os resultados do experimento indicaram que a combinação dos dois resíduos se mostrou uma alternativa bem-sucedida aos tijolos tradicionais, pois podem ser utilizados na construção de paredes com menor custo.

A busca por um material que seja adequado para uso na construção civil e que possua atributos físicos e mecânicos, como resistência térmica, acústica e mecânica, tem sido foco de pesquisas científicas. Com esse intuito os compósitos poliméricos que incorporam EPS recebem atenção significativa, devido a grandes lacunas que existem na influência do EPS na produção e propriedades dos compósitos (LEÃO, 2021).

Embora haja uma extensa pesquisa sobre a integração de RCD em concreto, argamassa e tijolos, há uma falta de exploração de sua integração em plásticos usados na construção civil. Portanto, há uma necessidade de materiais inovadores, como os que podem ser produzidos a partir de compostos poliméricos constituídos por poliestireno expandido e RCD.

III. METODOLOGIA

A presente pesquisa é classificada como aplicada quanto à sua natureza, pois, caracteriza-se pela utilização imediata dos resultados da pesquisa na solução de problemas que ocorrem na realidade (LAKATOS; MARCONE, 2017). Quanto a seus objetivos, a pesquisa classifica-se como explicativa, com o objetivo básico de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de um fenômeno (GIL, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2011). Em relação ao enfoque, o estudo trata-se de pesquisa quali-quantitativa, existindo uma abordagem que usa tanto os métodos quantitativos quanto qualitativos para a realização de uma análise aprofundada do estudo (CRESWELL, 2010).

E por fim, em relação aos procedimentos técnicos, classifica-se como uma pesquisa experimental, adotando critério de manipulação de uma ou mais variáveis independentes, interferindo na realidade com intenção de testar o impacto de uma intervenção sobre um resultado (CRESWELL, 2010).

3.1. Aquisição de material

Foram obtidos resíduos de construção e demolição (RCD) em uma obra de reforma na cidade de João Monlevade. Esses resíduos passaram por uma triagem inicial, onde foram separados e selecionados, para fins de estudo, apenas os tipos A e B de RCD.

a) O RCD tipo A: materiais como revestimento cerâmicos, blocos, telhas, argamassa, concreto.

b) O RCD tipo B: poliestireno expandido.

3.2. Beneficiamento do resíduo

Os resíduos de construção e demolição foram processados como agregado reciclado, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 15116 (ABNT, 2021). O objetivo desse processo foi reduzir o tamanho das partículas coletadas, utilizando um britador de mandíbulas seguido de um moinho de bolas.

O material resultante foi submetido a um processo de secagem em estufa por 24 horas, em seguida, peneirado e foram utilizadas as partículas passantes na peneira de malha 150µm, objetivando a produção de partículas de reforço (MACHADO, 2017).

3.3. Caracterizações do resíduo de construção e demolição

O RCD tipo A passou por uma caracterização morfológica utilizando a técnica de MEV em conjunto com o Sistema de Energia Dispersiva (MEV/EDS). Essa análise teve como objetivo obter informações qualitativas sobre a composição química básica do material. Além disso, foi determinada a massa específica aparente utilizando o método descrito na NM 52 (ABNT, 2009) e o teor de umidade superficial seguindo a NBR 9775 (ABNT, 2011).

3.4. Produção dos compósitos

Os compósitos foram produzidos utilizando o método de evaporação de solvente, também conhecido como "*casting*". Essa técnica é empregada para a análise de amostras em escala laboratorial e envolve a solubilização do material em um solvente. O processo de evaporação do solvente consistiu em dissolver o EPS em propanona estruturando uma dispersão polimérica, que atua como uma matriz. Durante a evaporação do solvente, ocorreu a solidificação da fase interna da emulsão, resultando na formação de micropartículas. Essa abordagem permitiu a incorporação de partículas, as quais podem ser associadas a matriz polimérica (MACHADO, 2010).

As amostras foram moldadas em corpos de prova, secos em temperatura ambiente por 30 dias e conformadas em concomitância à análise a ser realizada.

3.5. Caracterizações dos compósitos

Os compósitos produzidos com 5 e 10% (m/m) foram submetidos a análise para caracterização:

a) MEV: utilizado para investigar a interação na matriz do compósito polimérico, após a incorporação do RCD tipo A. Essa técnica permite analisar a microestrutura e as propriedades da interface entre os materiais.

b) Absorção de água: segundo a norma técnica ASTM 570-22, a absorção de água dos compósitos secos é determinada através da imersão em água destilada em temperatura ambiente. Depois de 24 horas, as amostras são retiradas da água, secas com papel de baixa absorção e pesadas em uma balança analítica. O teor de água absorvida é calculado comparando as massas inicial e final das amostras.

c) Dureza de Rockwell: de acordo com a norma técnica ASTM E18-22, o ensaio é um dos diversos métodos de medição de dureza de materiais. O ensaio de dureza de Rockwell detecta pequenas diferenças de durezas em pequenos tamanhos de impressão, e consiste em aplicação de carga em etapas, de modo que, *a priore*, uma pré-carga inicialmente aplicada garanta estabilidade para o contato firme entre o penetrador e a amostra e, em seguida, seja aplicada a carga total do ensaio. Os penetradores utilizados na máquina de ensaio de dureza Rockwell são do tipo esférico (esfera de aço temperado) ou cônico (cone de diamante com 120º de conicidade. O valor indicado na escala do mostrador é o valor da dureza Rockwell, que corresponde à profundidade alcançada pelo penetrador, subtraídas a recuperação elástica do material após a retirada da carga maior, e a profundidade decorrente da aplicação da pré-carga.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterizações dos resíduos de construção e demolição (RCD)

O resultado médio de três determinações da composição do RCD após moagem é mostrado por intermédio da curva granulométrica apresentado na Figura 2.

A Figura 2 apresenta a curva granulométrica do RCD.
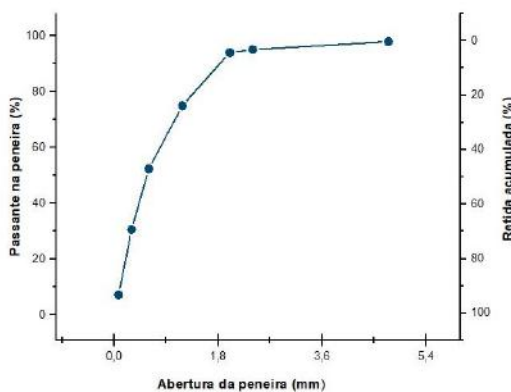
Fig.2- Curva granulométrica do RCD

Fonte: Autores, 2023.

Após o ensaio de granulometria, o material foi selecionado e levado para análise no MEV, que possibilitou observar que o RCD apresenta diferenças significativas no tamanho da partícula. Destaca-se a diferença de formatos entre as partículas.
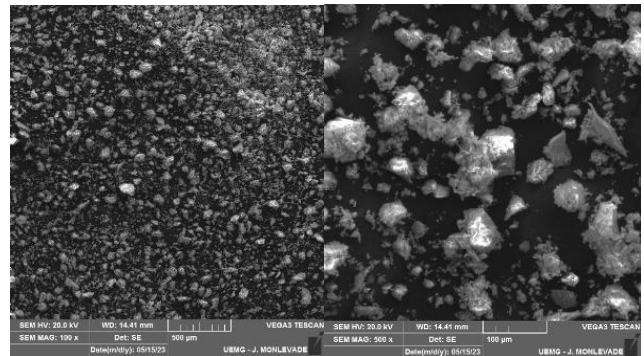
Fig.3 – Fotomicrografia do RCD

Fonte: Autores, 2023.

O EDS mostrou que o RCD possui composição de C (5,92%), O (49,05%), Mg (0,66%), Al (11,81%), Si (17,41%), k (1,12%), Ca (7,01%), Ti (0,81%), Fe (6,22%).

O Quadro 2 apresenta valores relacionados à massa específica, à umidade superficial e a umidade hidroscópica do RCD analisado. A massa específica é a proporção da massa do material seco para o seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Quadro 2 – Propriedades do RCD

Propriedade	Valor
Massa específica	2,5g/cm³
Umidade superficial	0,51%
Umidade hidroscópica	1,25%

Fonte: Autores, 2023.

Segundo John (2000), a massa específica de partículas de RCD pode ser influenciada pelos compósitos presentes na amostra, pela técnica de britagem e até mesmo pela localidade de aquisição do resíduo.

4.2 Caracterizações dos compósitos produzidos a partir dos resíduos de construção e demolição (RCD)

A Figura 4 apresenta as fotomicrografias dos compósitos, onde (a) representa a amostra sem adição de resíduo, onde há presença de poros, devido ao processo de expansão do poliestireno. A Figura 4 (b) retrata o compósito com 5% de resíduo, verificando grande diferença no aspecto da amostra com o preenchimento de parte dos poros com o RCD. Também foi notado que existem vazios entre o resíduo e a matriz polimérica. Na Figura 4 (c), o compósito tem 10% de resíduo em sua constituição, e foi observado que o RCD teve melhor aderência à matriz, reduzindo

consideravelmente a quantidade de vazios na estrutura do compósito. Ademais, não se observa nenhum tipo de aglutinação.
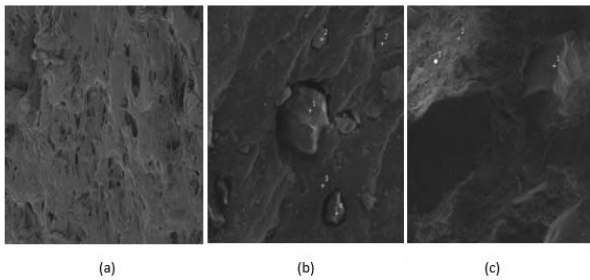
Fig.4 – Fotomicrografia (a) do corpo de prova a base de poliestireno, (b) do corpo de prova a base de poliestireno com adição de 5% de RCD e, (c) do corpo de prova a base de poliestireno com adição de 10% de RCD.

Fonte: Autores, 2023.

É importante atentar à interface reforço-matriz. Para garantir que as forças sejam transmitidas de um estágio para outro, deve ser fornecida uma forte adesão entre o material utilizado como matriz e o material utilizado como reforço. Sem interações fortes, o material irá falhar e a propagação da trinca ocorrerá em uma área maior (SHACKELFORD, 1996 *apud* MACHADO, 2017).

A Figura 5 apresenta o gráfico dos valores obtidos por meio do ensaio de absorção de água. A absorção de água por imersão é o processo pelo qual a água tende a ocupar todos os vazios permeáveis presentes em um corpo poroso. Portanto, quanto menos poros, menor será o percentual de água absorvida pelo material. O ensaio apresentou um aumento na absorção de água para o corpo de prova com 5% de resíduo com 25% de absorção de água, e diminuição na amostra com 10% de resíduo incorporado para 11% de absorção de água. O compósito base sem a presença de resíduo obteve 12% de absorção de água. Isso ocorre devido à presença das partículas de RCD incorporadas e a quantidade de vazios.

COSTA *et al.* (2014) analisaram a taxa de absorção de água em compósitos produzidos a partir de matriz polimérica de resina poliéster reforçados com fibras vegetais de açaí. Os autores concluíram que houve uma queda significativa na taxa de absorção de água quando quantidades maiores de fibras eram incorporadas à matriz.

O ensaio de dureza Rockwell no compósito apresentou falha. O corpo de prova não resistiu à carga aplicada, ocorrendo deformação devido à baixa ductilidade do material e alta deformação plástica.
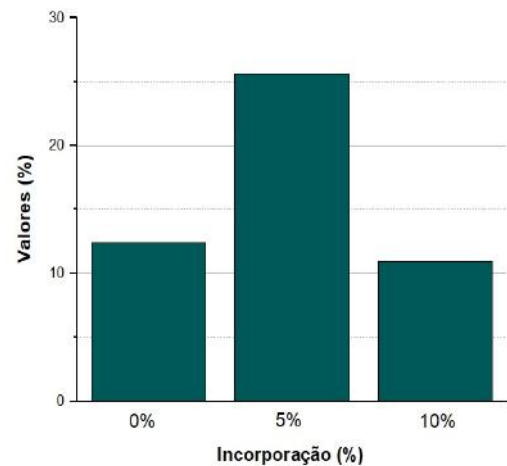
Fig.5 – Gráfico de absorção de água do compósito

Fonte: Autores, 2023.

Como sugestão para trabalhos futuros, o ensaio de Dureza Shore, utilizando a escala Shore A ou Shore D, é o método preferido para borrachas e elastômeros termoplásticos, e também é comumente usado para plásticos "mais macios", como poliolefinas, fluoropolímeros e vinílicos. Devido à indisponibilidade de recursos, não foi possível realizá-lo nesta pesquisa.

V. CONCLUSÃO

Foi desenvolvido material compósito e analisada a interação de resíduos de construção e demolição como partículas de reforço em uma matriz polimérica de poliestireno expandido.

Os compósitos surgem como uma alternativa sustentável à construção civil, pois o impacto ambiental da disposição final dos resíduos pode ser minimizado. Porém, novos estudos devem ser realizados para otimizar o percentual de RCD na matriz e os métodos de obtenção dos compósitos.

REFERÊNCIAS

[1] ABIQUIM (São Paulo). O que é EPS? 2020. Disponível em:http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html. Acesso em: 26 maio 2023.

[2] ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Brasil: ABRECON, 2022.

[3] ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido 2016. Disponível em: http://www.abrapex.com.br/. Acesso em 18 de maio de 2023.

[4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D570-22 – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken,2022

[5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E18-2022 – Standard Test

Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken,2022

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

[9] ALGIN, Murat Halil.; TURGUT, Paki. Limestone dust and wood sawdust as brick material. Building and Environment, 2007.

[10] ÂNGULO, Sérgio Cirelli; TEIXEIRA, Cláudia Echevenguá.; CASTRO, Alessandra Lorenzetti.; NOGUEIRA, Thais Passos. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, set. 2011.

[11] AR, IIker Murat. The impact of green product innovation on firm performance and competitive capability: the moderating role of managerial environmental concern. Procedia Social and Behavioral Sciences, n. 62, n. 4, p. 854-864, 2012.

[12] AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S. Using AHP and Dempster e Shafer Theory For Evaluating Sustainable Transport. Environmental Modeling and Software, v. 26, n. 6, p. 787-796, jun. 2011.

[13] BARBOSA, Maria Teresa Gomes; COURA, Cláudia Valéria Gávio; MENDES, Larissa Oliveira. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. Ambiente Construído, v.8, n.4, pp.51 - 60, 2011.

[14] BERFOLA, A. S. Viabilidade do uso do poliestireno expandido na indústria da construção civil. Faculdade de tecnologia, São Paulo, 2009.

[15] BESEN, Gina; GUNTHER, Wanda Maria; RIBEIRO, Helena; JACOBI, Pedro Roberto; DIAS, Sonia. 2017. Gestão da coleta seletiva e de organizações de catadores: indicadores e índices de sustentabilidade.

[16] BRASIL, Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://presrepublica.jusbrasil.com.br. Acesso em: 18 maio de 2023.

[17] CALLISTER, W. J.; RETHWISCH, D. Fundamentals of Materials Science and Engineering. AN INTEGRATED APPROACH, 10th Edition, Wiley, 2020.

[18] CBIC, Agência. PIB da construção. Disponível em: https://cbic.org.br/ . Acesso em: 26 maio de 2023.

[19] CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. (2011) Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. Field Crops Research, 121, 226-231.

[20] CRESWELL. John W. Projeto de Pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto. Tradução: Magda Lopes. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

[21] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n º 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2011.

[22] COSTA, A.S.G. *et al.* Ensaios de tração e absorção de água em compósitos de resina poliéster e fibra de açaí. In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.

[23] DUAN, Z. *et al***.** Rheological properties of mortar containing recycled powders from construction and demolition wastes. Construction and Building Materials, v. 237, p. 117622-117632, mar. 2020a.

[24] FERREIRA, L.; BARRA, M.; DE BRITO, J. Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties. Magazine of Concrete Research, v. 63, n. 8, p. 617–627, 2011.

[25] FIGUEREDO, Paulo Jorge Morais. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. Editor unimep. 1995.

[26] GOLDEMBERG, José; AGOPYAN Vahan; JOHN Vanderley. O desafio da sustentabilidade na construção civil. São Paulo, Blucher, 2012. 15p. (Série Sustentabilidade), v.5.

[27] GRAND VIEW RESEARCH. Plastic Market Size, Share & Trends Analysis Report 2021 - 2028. Disponível em: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-plastics-market Acesso em: 25 de junho de 2023.

[28] HARRIS, I. P. D.; JONES, T. J.; OSBORN, D. H. (2013). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 dataset. International Journal of Climatology, 34(3), pp. 623-642.

[29] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2022. Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 de junho de 2023.

[30] IBRAHIM, Abdul Razak Bin; ROY, Matthe.; AHMED, Zafar; IMTIAZ, Ghaffar. Analyzing the dynamics of the global construction industry: past, presente and future. Benchamarking: An International Journal, v. 17, n. 2, p. 232-252, 2010.

[31] ISSAI, M. T. *et al.* Intelligent Timetable Evaluation Using Fuzzy AHP. Expert Systems with Applications, v. 38, n. 4, p. 3718-3723, abr. 2011.

[32] JOHN, Vanderley; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES, São Paulo, 2000. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br. Acesso em: 05 de abril de 2023.

[33] KOU, Samuel; POON, Chi Sun. Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. Construction and Building Materials, v. 35, p. 69–76, 2012.

[34] KOU, Samuel; ZHAN, Baojian; POON, Chi Sun. Feasibility study of using recycled fresh concrete waste as coarse aggregates. Concrete Construction and Building Materials, Edinburgh, 28, 2012. 549-556. Disponível em: http://www.journals.elsevier.com/construction-and-building-materials. Acesso em: 20 maio de 2023.

[35] KWON, E. *et al.* A study on development of recycled cement made from waste cementitious powder. Construction and

Building Materials, v. 83, p. 174–180, maio 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.086>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

[36] LAKATOS, E. M., MARCONI, M. de A. Fundamentos de Metodologia Científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

[37] LEÃO, L. S. Influência do tipo de EPS e método de mistura nas propriedades de argamassas de revestimento. 2021. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.528. Acesso em 06 de julho de 2023**.**

[38] LEITE, M. B. Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos Com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

[39] LINTZ, Rosa *et al.* Study of the Reuse of Construction Residues in Concrete Employed by Blocks Manufacture. Ibracon Structures and Materials Journal, Campinas, pp.1-8, jun. 2012.

[40] MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira *et al.* Compósitos biodegradáveis a base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do beneficiamento do café, Revista Matéria, 15 (2010) 400-404.

[41] MADURWAR, Mangesh.; RALEGAONKAR, Raul; MANDAVGANE, Sachin. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. Construction and Building Materials, v. 38, n. 21, p. 872-878, 2013.

[42] LIU, Q. *et al*. Investigation of using hybrid recycled powder from demolished concrete solids and clay bricks as a pozzolanic supplement for cement. Construction and Building Materials, v. 73, p. 754–763, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.066>. Acesso em: 10 de julho 2023

[43] NOTA POSITIVA, 2010. Disponível em: http://www.notapositiva.com/old/pt/trbestbs/quimica/12_cermet.html. Acesso em: 15 de junho 2023.

[44] GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999. *Apud.* OLIVEIRA, M. F. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Catalão: UFG, 2011. PASCHOALIN, João Alexandre Filho; GRAUDENZ, Gustavo Silveira. Destinação irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva. Revista de Gestão Social e Ambiental, v.6, n.1, pp; 127-142, 2012.

[45] PAULESKI, Dalva Terezinha. Características de Compósitos Manufaturados com Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Diferentes Proporções de Casca de Arroz e Partículas de Madeira. Dissertação de Mestrado (Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

[46] PICANÇO, Marcelo de Souza; GHAVAMI, Khosrow. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 61, n. 1, p. 13-18, jan. / mar. 2008.

[47] PIMENTEL. Paula Emília Oliveira. Em busca da sustentabilidade: Expressões espaciais da permacultura no distrito federal. Dissertação. Universidade de Brasília, 2010.

[48] PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLES, Juan Luíz Rodrigo. Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil. Como implantar um Sistema de Manejo e Gestão dos Resíduos da Construção Civil nos Municípios. Brasília: Caixa Econômica Federal; Ministério das Cidades, Ministério do Meio Ambiente, 2005. v. 1, .198p.

[49] RYOU, J. S.; LEE, Y. S. Characterization of Recycled Coarse Aggregate (RCA) via a surface coating method. International Journal of Concrete Structures and Materials, v. 8, n. 2, p. 165–172, 2014.

[50] POLETTO, Matheus; DETTENBORN, Juliane; ZENI, Mara; ZATTERA Ademir. Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno pós consumo e serragem de Pinus. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais,18, Porto de Galinhas, 2008

[51] ROCHA, FIGUEIREDO, ALTRAN. Estudo das propriedades físicas, mecânicas e aplicação do concreto leve com a utilização de agregados de poliestireno expandido - eps. 2016. Colloquium exactarum. Issn: 2178-8332, 8(3), 36-43.

[52] SALLES, P. V. Compósitos cimentícios de alto desempenho com finos de resíduos de construção e demolição. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2023. Disponível em: https://sig.cefetmg.br/sigaa/public/programa/defesas.jsf?lc=pt_BR&id=303. Acesso em: 06 de julho de 2023.

[53] SANTOS, Rui. Os plásticos na construção civil. Fernando Pessoa. Universidade Fernando Pessoa. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – 2010.

[54] SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. Acta Scientarum Technology, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

[55] SHACKELFORD, James (1996). Introduction to materials Science for engineers.New York,John Wiley & Sons. *Apud.* MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira *et al.* Compósitos biodegradáveis a base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do beneficiamento do café, Revista Matéria, 15 (2010) 400-404.

[56] SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCC) em Uberaba-MG. Revista Sociedade & Natureza, ano 24, n. 2, p. 333-344, maio/ago. 2012.

[57] THOMAS, C. et al. Macro- and micro- properties of multi-recycled aggregate concrete. Journal of Cleaner Production, v. 245, p. 118843-118863, fev. 2020.

[58] TYKKA, Sanna *et al.* Development of timber framed firms in the construction sector –Is EU policy one source of their innovation. Forest Policy and Economics, v.12, n. 19, p. 199-206, 2010.

[59] Turgut, P. and Algin, H.M. (2007) Limestone Dust and Wood Sawdust as Brick Material. Building and Environment Journal, 42, 3399-3403.

[60] VIDAL, L. A. et al. Applying AHP to Select Drugs To Be Produced by Anticipation in A Chemotherapy Compounding Unit. Expert Systems with Applications, v. 37, n. 2, p. 1528-1534, mar. 2010.

[61] XIAO, J. *et al.* Utilization potential of aerated concrete block powder and clay brick powder from C&D waste. Construction and Building Materials, v. 188, p. 117721, mar. 2018b.

[62] WAN, Emerson; Galembeck, Eduardo; Galembeck, Fernando. Introdução a Química dos Materiais. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola 2002, nº 2. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/02/. Acesso em: 26 maio de 2023.

[63] ZHANG, J. *et al.* Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar. Construction and Building Materials, v. 98, p. 1–7, 2015.